

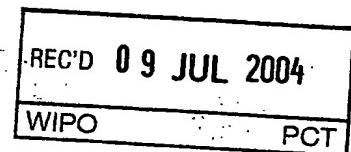


fR04/50169

BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

COPIE OFFICIELLE



Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 08 JUIN 2004

Pour le Directeur général de l'Institut
national de la propriété industrielle
Le Chef du Département des brevets

DOCUMENT DE PRIORITÉ

PRÉSENTÉ OU TRANSMIS
CONFORMÉMENT À LA
RÈGLE 17.1.a) OU b)

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Martine PLANCHE'.

Martine PLANCHE



26 bis, rue de Saint Pétersbourg
75800 Paris Cedex 08
Téléphone : 33 (1) 53 04 53 04 Télécopie : 33 (1) 42 94 86 54

1er dépôt

BREVET D'INVENTION CERTIFICAT D'UTILITÉ

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI

cerfa
N° 11354*02

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE page 1/2



Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 540.E W / 010801

REMISE DES PECES DATE LIEU		Réervé à l'INPI 29 AVR. 2003 09		
N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI		0305291		
DATE DE DÉPÔT ATTRIBUÉE PAR L'INPI		29 AVR. 2003		
Vos références pour ce dossier <i>(facultatif)</i> JC/CLN				
Confirmation d'un dépôt par télécopie 2 NATURE DE LA DEMANDE		<input type="checkbox"/> N° attribué par l'INPI à la télécopie Cochez l'une des 4 cases suivantes <input checked="" type="checkbox"/> Demande de brevet <input type="checkbox"/> Demande de certificat d'utilité <input type="checkbox"/> Demande divisionnaire <i>Demande de brevet initiale ou demande de certificat d'utilité initiale</i> <input type="checkbox"/> Transformation d'une demande de brevet européen <i>Demande de brevet initiale</i>		
3 TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)		MÉTHODE D'EVALUATION DU FACTEUR DE FORMATION D'UN GISEMENT SOUTERRAIN A PARTIR DE MESURES SUR DES DEBRIS DE FORAGE QUI Y SONT PRELEVÉS		
4 DÉCLARATION DE PRIORITÉ OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE LA DATE DE DÉPÔT D'UNE DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE		<input type="checkbox"/> Pays ou organisation Date <input type="text"/> N° <input type="checkbox"/> Pays ou organisation Date <input type="text"/> N° <input type="checkbox"/> Pays ou organisation Date <input type="text"/> N° <input type="checkbox"/> S'il y a d'autres priorités, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»		
5 DEMANDEUR (Cochez l'une des 2 cases)		<input checked="" type="checkbox"/> Personne morale <input type="checkbox"/> Personne physique		
Nom ou dénomination sociale		INSTITUT FRANCAIS DU PETROLE		
Prénoms				
Forme juridique		Organisme Professionnel		
N° SIREN		<input type="text"/>		
Code APE-NAF		<input type="text"/>		
Domicile ou siège	Rue	1 et 4 avenue de Bois Préau		
	Code postal et ville	92852 Rueil-Malmaison cedex		
	Pays	France		
Nationalité		Française		
N° de téléphone (facultatif)		01 47 52 60 00	N° de télécopie (facultatif) 01 47 52 70 03	
Adresse électronique (facultatif)		<input type="checkbox"/> S'il y a plus d'un demandeur, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»		

**BREVET D'INVENTION
CERTIFICAT D'UTILITÉ**

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE
page 2/2

BR2

REMISE DES PIÈCES	Réervé à l'INPI
DATE	29 AVR. 2003
LIEU	99
N° D'ENREGISTREMENT	0305291
NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI	

DB 540 @ W / 010801

7 Vos références pour ce dossier : (facultatif)		JC/CLN
G MANDATAIRE (s'il y a lieu)		
Nom		ELMALEH
Prénom		Alfred
Cabinet ou Société		INSTITUT FRANCAIS DU PETROLE
N °de pouvoir permanent et/ou de lien contractuel		
Adresse	Rue	1 et 4 avenue de Bois Préau
	Code postal et ville	9218521 Rueil-Malmaison cedex
	Pays	France
N° de téléphone (facultatif)		01 47 52 60 00
N° de télécopie (facultatif)		01 47 52 70 03
Adresse électronique (facultatif)		
H INVENTEUR(S)		Les inventeurs sont nécessairement des personnes physiques
Les demandeurs et les inventeurs sont les mêmes personnes		<input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non : Dans ce cas remplir le formulaire de Désignation d'inventeur(s)
I RAPPORT DE RECHERCHE		Uniquement pour une demande de brevet (y compris division et transformation)
Établissement immédiat ou établissement différé		<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Paiement échelonné de la redevance (en deux versements)		Uniquement pour les personnes physiques effectuant elles-mêmes leur propre dépôt
		<input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non
J RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES		Uniquement pour les personnes physiques
		<input type="checkbox"/> Requise pour la première fois pour cette invention (joindre un avis de non-imposition) <input type="checkbox"/> Obtenu antérieurement à ce dépôt pour cette invention (joindre une copie de la décision d'admission à l'assistance gratuite ou indiquer sa référence) : AG <input type="text"/>
Si vous avez utilisé l'imprimé «Suite», indiquez le nombre de pages jointes		
K SIGNATURE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire) Alfred ELMALEH, Directeur - Propriété Industrielle		 VISA DE LA PRÉFECTURE OU DE L'INPI 

5

Désignation du domaine technique

La présente invention concerne une méthode d'évaluation du facteur de formation de formations souterraines à partir de déblais de roche remontés à la surface lors d'opérations de forage de puits au travers de gisements souterrains de liquides.

10 Dans le domaine de la caractérisation pétrophysique, il est une donnée très importante qui conditionne l'interprétation des diagraphies électriques pour l'évaluation de la saturation en eau dans les gisements, c'est le Facteur dit de Formation (ci-après en abrégé : FF) qui est défini comme le rapport entre la conductivité de la saumure seule (σ_w) et la conductivité du milieu poreux saturé en saumure (σ_0), soit $FF = \frac{\sigma_w}{\sigma_0}$.

15 La connaissance de ce facteur de formation permet aux compagnies opératrices d'obtenir une première caractérisation pétrophysique d'un gisement peu de temps après le forage des puits et par voie de conséquence, une bonne évaluation des quantités d'hydrocarbures en place.

Suivant la première loi d'Archie (1942) telle qu'elle est donnée dans la publication :

20 - Archie G.E. : "Electrical Resistivity Log as an Aid in Determining Some Reservoir Characteristics", Trans AIME, 146, pp 54-62, 1942,

le FF peut aussi s'écrire :

$$FF = a \times \phi^{-m}$$

où a est un paramètre (proche de 1) et m est l'exposant de cimentation (ϕ désignant la porosité).

L'Indice de Résistivité (IR) est défini comme étant le rapport entre la conductivité du milieu poreux saturé complètement en saumure (σ_0) et la conductivité du milieu poreux saturé à S_w (σ_t) :

$$IR = \frac{\sigma_0}{\sigma_t}$$

5 Suivant la seconde loi d'Archie donnée dans le même document, l'IR peut aussi s'écrire :

$$IR = S_w^{-n}$$

où n est l'indice de résistivité.

10 Dans le mode usuel d'interprétation, les mesures diagraphiques fournissent les valeurs de R_t et de ϕ le long du puits et on connaît la valeur de R_w à partir des mesures dans la zone aquifère. A partir des deux lois d'Archie et des mesures diagraphiques, il est donc possible d'évaluer la saturation en saumure le long du puits en utilisant la formule suivante :

$$S_w = \left(a \times \phi^{-m} \times \frac{\sigma_t}{\sigma_w} \right)^{\frac{1}{n}}$$

15 L'utilisation de cette formule peut conduire à des erreurs sur l'évaluation de S_w car les valeurs de m et n sont souvent mal connues pendant le forage. En première approximation, on considère souvent que m et n sont égaux à 2 ce qui est en général assez réaliste pour n mais peut être très erroné pour m. La mesure du FF directement à partir de déblais peu de temps après le forage des niveaux réservoirs peut donc considérablement 20 améliorer l'évaluation du profil de S_w le long du puits et donc des quantités d'hydrocarbures en place dans le gisement. S_w se calcule alors à partir de la formule suivante :

$$S_w = \left(FF \times \frac{\sigma_t}{\sigma_w} \right)^{\frac{1}{n}}$$

Etat de la technique

Avec les techniques actuelles, le facteur de formation est obtenu par l'intermédiaire de mesures au laboratoire sur des carottes de gisement. Ces méthodes sont chères du fait des coûts de carottage et de la mesure elle-même et les résultats ne sont disponibles que 5 plusieurs mois après le forage.

L'acquisition des mesures expérimentales de conductivité sur carotte repose sur un matériel classique utilisé dans la plupart des laboratoires de pétrophysique.

Le dispositif de mise en œuvre est principalement constitué (figure 1) d'une cellule de confinement 1 contenant la carotte réalisée en un matériau non conducteur, qui est fermée à ses extrémités opposées par deux embouts 2, 3 faits d'un matériau conducteur. Un 10 générateur à fréquence variable 4 est connecté entre les deux embouts 2, 3, et le courant qu'il applique est mesuré par un ampèremètre 5. A deux emplacements espacés le long du corps de la cellule 1 sont disposées des électrodes 6, 7 connectées à un voltmètre 8. C'est 15 un agencement classique de mesure en quatre points qui procure la meilleure précision de mesure et que l'on trouve déjà mis en œuvre par exemple dans le brevet FR 2.781.573 (US 6.229.312) du demandeur ou dans la publication suivante :

- Sprunt E.S., Maute R.E., Rackers C.I. : " An Interpretation of the SCA Electrical Resistivity ", The Log Analyst, pp 76-88, March-April 1990.

LA METHODE SELON L'INVENTION

20 La méthode selon l'invention permet d'évaluer à moindre coût et dans un délai réduit, le facteur de formation d'un gisement souterrain à partir de déblais de forage remontés à la surface du forage de puits au travers du gisement.

Elle comporte l'utilisation d'un dispositif comprenant une cellule adaptée à contenir 25 des déblais de forage et pourvue d'électrodes connectées à un appareil de mesure de la conductivité du contenu de la cellule pour réaliser au moins une première étape de mesure dans laquelle :

- on dispose les déblais de forage dans la cellule que l'on remplit d'un premier liquide conducteur de conductivité connue ;

- après saturation des déblais de forage par le premier liquide, on détermine la conductivité électrique globale de la cellule avec son contenu ;
- on évacue le premier liquide hors de la cellule et on détermine la conductivité électrique des déblais de forage encore saturés du dit premier liquide ;
- 5 - on détermine les fractions volumiques respectives occupées dans la cellule respectivement par les déblais de forage et le liquide entre les déblais ; et
- on en déduit le facteur de formation des déblais par combinaison des mesures précédentes.

Suivant un mode de mise en œuvre, on effectue une deuxième étape de mesure dans
10 laquelle :

- on remplit avec un deuxième liquide conducteur de conductivité connue, la cellule contenant les déblais saturés avec le premier liquide ; et
- on détermine la conductivité électrique globale de la cellule avec son nouveau contenu,
15 le facteur de formation étant obtenu par combinaison des conductivités électriques des deux liquides et des conductivités électriques globales de la cellule avec son contenu, obtenues durant la première étape et le deuxième étape.

Suivant un autre mode de mise en œuvre, on détermine les fractions volumiques respectives occupées dans la cellule respectivement par les déblais de forage et le liquide entre les déblais par mesure directe du volume de déblais (au moyen d'un pycnomètre par 20 exemple) ou de la masse de déblais ainsi que du volume de la cellule.

Le remplacement dans la cellule du premier liquide par le deuxième liquide est effectué par exemple par déplacement miscible ou par vidange gravitaire ou encore par désorption capillaire de l'espace inter-déblais occupé par le premier liquide à l'aide d'une membrane semi-perméable suivi d'une injection du deuxième liquide.

25 PRESENTATION SUCCINCTE DES DESSINS

- la figure 1 montre schématiquement un dispositif de mesure de conductivités à quatre électrodes ;

- la figure 2 illustre l'état A obtenu dans un premier temps en remplissant avec un premier liquide A, la cellule contenant les déblais de forage ;
 - la figure 3 illustre l'état B obtenu dans un deuxième temps après avoir échangé le liquide A par un autre liquide B ;
- 5 - les figures 4A et 4B montrent respectivement les résultats obtenus avec l'approche auto-similaire suivant deux procédures différentes de mise en œuvre de la méthode ;
- les figures 5A et 5B montrent respectivement les résultats obtenus avec l'approche auto-similaire suivant deux autres procédures différentes de mise en œuvre de la méthode ; et
- 10 - la figure 6 montre un tableau comparatif des résultats obtenus suivant quatre méthodes envisagées ci-après avec les mesures de référence obtenues à partir d'expériences sur carotte.

DESCRIPTION DETAILLÉE

La méthode d'évaluation rapide du FF à partir de déblais de forage repose comme 15 on va le voir ci-après, sur l'acquisition de données expérimentales obtenues en mesurant la conductivité des déblais de forage sous différentes conditions. Lorsque l'on mesure la conductivité électrique d'une cellule contenant des fragments de roche, la conductivité dépend de la conductivité des fragments de roche mais aussi du liquide situé entre les fragments. La méthode proposée permet d'interpréter les mesures expérimentales en terme 20 de FF en utilisant des modèles théoriques. Plusieurs cas d'application seront ensuite proposés qui montrent le très bon accord obtenu entre les valeurs de FF obtenues à partir de carottes et les valeurs de FF obtenues à partir des fragments de ces carottes sur une large gamme de FF.

Acquisition des données expérimentales

25 On utilise le dispositif schématisé à la figure 1. Les déblais de forage (ou "cuttings") préalablement nettoyés et séchés, sont introduits dans la cellule 1.

- la figure 2 illustre l'état A obtenu dans un premier temps en remplissant avec un premier liquide A, la cellule contenant les déblais de forage ;
 - la figure 3 illustre l'état B obtenu dans un deuxième temps après avoir échangé le liquide A par un autre liquide B ;
- 5 - les figures 4A et 4B montrent respectivement les résultats obtenus avec l'approche auto-similaire suivant deux procédures différentes de mise en œuvre de la méthode ;
- les figures 5A et 5B montrent respectivement les résultats obtenus avec l'approche auto-similaire suivant deux autres procédures différentes de mise en œuvre de la méthode ; et
- 10 - la figure 6 montre un tableau comparatif des résultats obtenus suivant quatre méthodes envisagées ci-après avec les mesures de référence obtenues à partir d'expériences sur carotte.

DESCRIPTION DETAILLEE

La méthode d'évaluation rapide du FF à partir de déblais de forage repose comme 15 on va le voir ci-après, sur l'acquisition de données expérimentales obtenues en mesurant la conductivité des déblais de forage sous différentes conditions. Lorsque l'on mesure la conductivité électrique d'une cellule contenant des fragments de roche, la conductivité dépend de la conductivité des fragments de roche mais aussi du liquide situé entre les fragments. La méthode proposée permet d'interpréter les mesures expérimentales en terme 20 de FF en utilisant des modèles théoriques. Plusieurs cas d'application seront ensuite proposés qui montrent le très bon accord obtenu entre les valeurs de FF obtenues à partir de carottes et les valeurs de FF obtenues à partir des fragments de ces carottes sur une large gamme de FF.

Acquisition des données expérimentales

25 On utilise le dispositif schématisé à la figure 1. Les déblais de forage (ou "cuttings") préalablement nettoyés et séchés, sont introduits dans la cellule 1.

Dans un premier temps, on remplit complètement la cellule d'un liquide conducteur A, jusqu'à saturation complète des déblais et on mesure la conductivité globale de la cellule et de son contenu que l'on note σ_A^* . Cet état est noté état A (figure 2).

Ensuite, on évacue le liquide A et on remplit la cellule avec un autre liquide conducteur B sans changer la nature du liquide saturant les déblais. Pratiquement, cette opération peut être réalisée par :

- ✓ déplacement miscible du liquide A par le liquide B
- ✓ vidange gravitaire du liquide A suivi d'une injection de liquide B, ou
- ✓ désorption capillaire de l'espace inter-déblais occupé par le liquide A à l'aide d'une membrane semi-perméable suivi d'une injection de liquide B

A l'issue de cette phase, on a donc des déblais saturés en liquide A baignant dans un liquide B. On mesure alors la conductivité globale du système que l'on note σ_B^* . Cet état est noté état B (figure 3).

Si on utilise des saumures de salinité connue comme liquide A et B, on peut déduire la valeur de leur conductivité à partir de tables telles que celles que l'on peut trouver dans la publication suivante :

- Worthington A.E., Hedges J.H., Pallatt N. : "SCA Guidelines for sample preparation and porosity measurement of electrical resistivity samples", The Log Analyst, pp 20-28, January-February 1990.

Dans un cas plus général, il est aussi possible de mesurer directement la valeur de la conductivité des liquides A et B à l'aide d'un conductimètre. On note alors σ_A et σ_B les conductivités des liquides A et B seuls.

Interprétation des résultats expérimentaux en terme de FF

Les différentes mesures de conductivité peuvent être interprétées :

- ✓ en utilisant la théorie des champs moyens telle que décrite dans les publications suivantes,

- Berryman J.G.: "Mixture Theories for Rock Properties", Rock Physics and Phase Relation, pp 205-228, 1990 ; ou
 - Bruggeman D.A.G.: "Berechnung verschiedener physikalischer Konstanten von heterogenen Substanzen", Ann. Physik. (Leipzig), 24, 636-679, 1935.
- 5 ✓ en utilisant tout autre théorie, existante ou non, basée sur le même type d'approche

On considère que l'ensemble du volume est occupé par 2 types de milieux 1 et 2. La fraction volumique du milieu 1 est notée x et la fraction volumique du milieu 2 est notée y , égale à $1-x$. Dans la suite, on va toujours considérer que le milieu 1 représente le liquide A ou B inter-déblais et le milieu 2, les déblais de roche saturés. Les conductivités de chacun des milieux, liquide inter-déblais et déblais de roche saturés, sont notées σ_1 et σ_2 et la conductivité globale du système est notée σ^* .

Suivant une première approche appelée auto-similaire, on peut écrire la relation suivante :

$$x \times \frac{\sigma_1 - \sigma^*}{\sigma_1 + 2\sigma^*} + y \times \frac{\sigma_2 - \sigma^*}{\sigma_2 + 2\sigma^*} = 0$$

15 i.e.
$$(1-y) \times \frac{\sigma_1 - \sigma^*}{\sigma_1 + 2\sigma^*} + y \times \frac{\sigma_2 - \sigma^*}{\sigma_2 + 2\sigma^*} = 0 \quad (1)$$

On peut alors écrire l'équation précédente pour les deux états (A et B) mesurés expérimentalement :

État A :
$$\begin{aligned} \sigma_1 &= \sigma_A \\ \sigma_2 &= \sigma_A / FF \end{aligned} \quad \sigma^* = \sigma_A^*$$

$$(1-y) \times \frac{\sigma_A - \sigma_A^*}{\sigma_A + 2\sigma_A^*} + y \times \frac{\sigma_A / FF - \sigma_A^*}{\sigma_A / FF + 2\sigma_A^*} = 0 \quad (2)$$

20 État B :
$$\begin{aligned} \sigma_1 &= \sigma_B \\ \sigma_2 &= \sigma_B / FF \end{aligned} \quad \sigma^* = \sigma_B^*$$

$$(1-y) \times \frac{\sigma_B - \sigma_B^*}{\sigma_B + 2\sigma_B^*} + y \times \frac{\sigma_A/\text{FF} - \sigma_A^*}{\sigma_A/\text{FF} + 2\sigma_A^*} = 0 \quad (3)$$

Les équations (2) et (3) peuvent aussi s'écrire

$$y = \frac{1}{1 - \left(\frac{\sigma_A/\text{FF} - \sigma_A^*}{\sigma_A/\text{FF} + 2\sigma_A^*} \times \frac{\sigma_A + 2\sigma_A^*}{\sigma_A - \sigma_A^*} \right)} \quad (4)$$

$$y = \frac{1}{1 - \left(\frac{\sigma_A/\text{FF} - \sigma_B^*}{\sigma_A/\text{FF} + 2\sigma_B^*} \times \frac{\sigma_B + 2\sigma_B^*}{\sigma_B - \sigma_B^*} \right)} \quad (5)$$

5

En combinant les équations (4) et (5), on obtient alors

$$\left(\frac{\sigma_A/\text{FF} - \sigma_A^*}{\sigma_A/\text{FF} + 2\sigma_A^*} \times \frac{\sigma_A + 2\sigma_A^*}{\sigma_A - \sigma_A^*} \right) = \left(\frac{\sigma_A/\text{FF} - \sigma_B^*}{\sigma_A/\text{FF} + 2\sigma_B^*} \times \frac{\sigma_B + 2\sigma_B^*}{\sigma_B - \sigma_B^*} \right) \quad (6)$$

En posant, $K_A = \left(\frac{\sigma_A + 2\sigma_A^*}{\sigma_A - \sigma_A^*} \right)$ $K_B = \left(\frac{\sigma_B + 2\sigma_B^*}{\sigma_B - \sigma_B^*} \right)$ $X = \sigma_A/\text{FF}$, on obtient alors une

équation du second degré que l'on sait résoudre de manière analytique,

$$(K_B - K_A)X^2 + [K_B(2\sigma_A^* - \sigma_B^*) - K_A(2\sigma_B^* - \sigma_A^*)]X + 2\sigma_A^*\sigma_B^*(K_A - K_B) = 0 \quad (7)$$

10

La résolution de cette équation donne toujours deux racines réelles car le discriminant est toujours strictement positif,

$$\Delta = [K_B(2\sigma_A^* - \sigma_B^*) - K_A(2\sigma_B^* - \sigma_A^*)]^2 + 8\sigma_A^*\sigma_B^*(K_B - K_A)^2$$

$$\text{FF} = \frac{2(K_B - K_A)\sigma_A}{-(K_B(2\sigma_A^* - \sigma_B^*) - K_A(2\sigma_B^* - \sigma_A^*)) \pm \sqrt{\Delta}} \quad (8)$$

Des deux solutions, on garde uniquement celle qui est physiquement acceptable (FF > 0). Connaissant FF, on peut alors déduire la valeur de y en utilisant (4) ou (5).

Suivant une seconde procédure, on utilise toujours l'approche auto-similaire mais on ne se sert que de la première mesure de conductivité réalisée lorsqu'un unique liquide A

sature les déblais et l'espace inter-déblais. On utilise alors directement l'équation (2) pour évaluer FF,

$$FF = \frac{\sigma_A \times ((1-y) + y \times K_A)}{y \times K_A \times \sigma_A^* - 2\sigma_A^* \times (1-y)} \quad (9)$$

où σ_A , σ_A^* sont mesurés

- 5 La fraction volumique occupée par les déblais y est calculée suivant la relation suivante :

$$y = \frac{V_{déblais}}{V_{cellule}} = \frac{M_{déblais}}{V_{cellule} \times (1-\phi) \times d_{roche}} \quad (10)$$

$V_{déblais}$: volume occupé par les déblais

$V_{cellule}$: volume total de la cellule

10 $M_{déblais}$: masse de déblais introduite dans la cellule

ϕ : porosité des déblais

d_{roche} : densité de la roche constituant les déblais

ϕ et d_{roche} peuvent être obtenus en utilisant les demandes de brevet FR 02/02.242 et FR03/03.742.

- 15 Il est aussi possible de mesurer directement la valeur de $V_{déblais}$ en utilisant un pycnomètre à poudre.

Suivant une troisième procédure, on utilise une approche dérivative et on peut écrire la relation suivante entre σ_1 (conductivité de l'espace inter-déblais), σ_2 (conductivité des déblais) et σ^* (conductivité globale du système),

$$20 \left(\frac{\sigma_2 - \sigma^*}{\sigma_2 - \sigma_1} \right) \left(\frac{\sigma_1}{\sigma^*} \right)^{1/3} = 1 - y \quad (11)$$

L'équation précédente peut être appliquée pour les deux états (A et B) mesurés expérimentalement :

Etat A :

$$\sigma_1 = \sigma_A$$

$$\sigma_2 = \sigma_A / FF$$

$$\sigma^* = \sigma_A^*$$

$$\left(\frac{\sigma_A / FF - \sigma_A^*}{\sigma_A / FF - \sigma_A} \right) \left(\frac{\sigma_A}{\sigma_A^*} \right)^{1/3} = 1 - y \quad (12)$$

Etat B :

$$\begin{aligned}\sigma_1 &= \sigma_B \\ \sigma_2 &= \sigma_A / FF\end{aligned}$$

$$\sigma^* = \sigma_B^*$$

$$\left(\frac{\sigma_A / FF - \sigma_B^*}{\sigma_A / FF - \sigma_B} \right) \left(\frac{\sigma_B}{\sigma_B^*} \right)^{1/3} = 1 - y \quad (13)$$

En combinant les équations (12) et (13), on obtient alors directement une relation en FF seul :

$$\left(\frac{\sigma_A / FF - \sigma_A^*}{\sigma_A / FF - \sigma_A} \right) \left(\frac{\sigma_A}{\sigma_A^*} \right)^{1/3} = \left(\frac{\sigma_A / FF - \sigma_B^*}{\sigma_A / FF - \sigma_B} \right) \left(\frac{\sigma_B}{\sigma_B^*} \right)^{1/3} \quad (14)$$

En posant maintenant, $K_A = \left(\frac{\sigma_A}{\sigma_A^*} \right)^{1/3}$, $K_B = \left(\frac{\sigma_B}{\sigma_B^*} \right)^{1/3}$ et $X = \sigma_A / FF$, on obtient alors une équation du second degré en X,

$$(K_A - K_B)X^2 - [K_A(\sigma_A^* + \sigma_B) - K_B(\sigma_B^* + \sigma_A)]X + K_A\sigma_A^*\sigma_B - K_B\sigma_B^*\sigma_A = 0 \quad (15)$$

Le discriminant de cette équation s'écrit :

$$\Delta = [K_A(\sigma_A^* - \sigma_B) - K_B(\sigma_B^* - \sigma_A)]^2 + 4K_AK_B(\sigma_B^* - \sigma_A^*)(\sigma_A - \sigma_B)$$

et conduit à l'obtention de deux solutions réelles dont on garde uniquement la solution physique acceptable ($FF > 0$),

$$FF = \frac{2(K_A - K_B)\sigma_A}{(K_A(\sigma_A^* + \sigma_B) - K_B(\sigma_B^* + \sigma_A)) \pm \sqrt{\Delta}} \quad (16)$$

Suivant une quatrième procédure, on utilise toujours l'approche dérivative mais on ne sait que de la première mesure de conductivité réalisée lorsqu'un unique liquide sature les déblais et l'espace inter-déblais. On utilise alors directement l'équation (12) pour évaluer FF,

$$FF = \frac{\sigma_A \times (K_A - (1-y))}{\sigma_A^* \times K_A - \sigma_A \times (1-y)} \quad (17)$$

où σ_A , σ_A^* sont mesurés

y est calculé suivant (10)

5 ϕ et d représentant respectivement la porosité et la masse spécifique des fragments de roche, roche peuvent être obtenus comme indiqué dans la demande de brevet 02/02.242 du demandeur par exemple.

Il est aussi possible de mesurer directement la valeur de V déblais en utilisant un pycnomètre à poudre.

10 Pour les procédures 3 et 4, il est possible de prendre en compte une forme de déblais moins sphérique en remplaçant l'exposant 1/3 par un paramètre L dans la formule générique,

$$\left(\frac{\sigma_2 - \sigma^*}{\sigma_2 - \sigma_1} \right) \left(\frac{\sigma_1}{\sigma^*} \right)^L = 1 - y$$

1.1. Validation de la méthode par comparaison avec des mesures de référence

Une série d'expériences a été réalisée à partir de roches de perméabilité et de porosité variées pour comparer les résultats obtenus sur déblais suivant les quatre procédures détaillées précédemment avec des mesures obtenues par une procédure classique sur carotte.

20 L'ensemble des résultats a été rassemblé dans le tableau de la Fig.5. Ils mettent en évidence une très bonne corrélation entre les mesures de référence et les mesures sur déblais. Des deux approches envisagées, auto-similaire ou dérivative, il semble que cela soit la deuxième qui donne les meilleurs résultats (procédures 3 et 4). Des deux modes de traitement, combinaison de deux mesures ou estimation de la fraction de déblais y, les résultats montrent que le premier permet d'augmenter notablement la coefficient de corrélation avec les mesures de référence. Des quatre procédures proposées, c'est donc la 25. troisième qui présente la meilleure sensibilité.

Il faut préciser que les méthodes de calcul dites "auto-similaire" et "dérivative" qui ont été mises en œuvre pour évaluer le facteur de formation, n'ont été décrites qu'à titre d'exemples non limitatifs.

REVENDICATIONS

1) Méthode pour évaluer le facteur de formation d'un gisement souterrain à partir de déblais de forage remontés à la surface du forage de puits au travers du gisement, caractérisée en ce que l'on utilise un dispositif comprenant une cellule (1) adaptée à 5 contenir des déblais de forage et pourvue d'électrodes connectées à un appareil de mesure de la conductivité du contenu de la cellule pour réaliser au moins une première étape de mesure dans laquelle :

- on dispose les déblais de forage dans la cellule que l'on remplit d'un premier liquide conducteur (A) de conductivité connue (σ_a) ;

- 10 - après saturation des déblais de forage par le premier liquide (A), on détermine la conductivité électrique globale (σ_A^*) de la cellule avec son contenu ;

- on évacue le premier liquide (A) hors de la cellule et on détermine la conductivité électrique des déblais de forage encore saturés du dit premier liquide ;

- on détermine les fractions volumiques respectives (y, x) occupées dans la cellule (1) 15 respectivement par les déblais de forage et le liquide entre les déblais ; et

- on en déduit le facteur de formation (FF) des déblais par combinaison des mesures précédentes.

2) Méthode selon la revendication 1, caractérisée en ce qu'elle comporte une deuxième étape de mesure dans laquelle :

- 20 - on remplit avec un deuxième liquide conducteur (B) de conductivité connue (σ_B), la cellule contenant les déblais saturés avec le premier liquide (A) ; et

- on détermine la conductivité électrique globale (σ_B^*) de la cellule avec son nouveau contenu,

le facteur de formation (FF) étant obtenu par combinaison des conductivités électriques des 25 deux liquides et des conductivités électriques globales de la cellule avec son contenu, obtenues durant la première étape et la deuxième étape.

- 3) Méthode selon la revendication 1, caractérisée en ce que l'on détermine les fractions volumiques respectives (y , x) occupées dans la cellule (1) respectivement par les déblais de forage et le liquide entre les déblais par mesure directe du volume ou de la masse de déblais et du volume de la cellule.
- 5 4) Méthode selon la revendication 3, caractérisée en ce que l'on mesure le volume de déblais au moyen d'un pycnomètre.
- 5) Méthode selon la revendication 2, caractérisée en ce que le remplacement du premier liquide (A) par le deuxième liquide (B), est effectué par déplacement miscible.
- 10 6) Méthode selon la revendication 2, caractérisée en ce que le remplacement du premier liquide (A) par le deuxième liquide (B) est effectué par vidange gravitaire.
- 7) Méthode selon la revendication 2, caractérisée en ce que le remplacement du premier liquide (A) par le deuxième liquide (B), est effectué par désorption capillaire de l'espace inter-déblais occupé par le premier liquide à l'aide d'une membrane semi-perméable, suivie d'une injection du deuxième liquide.

1/2

FIG.1

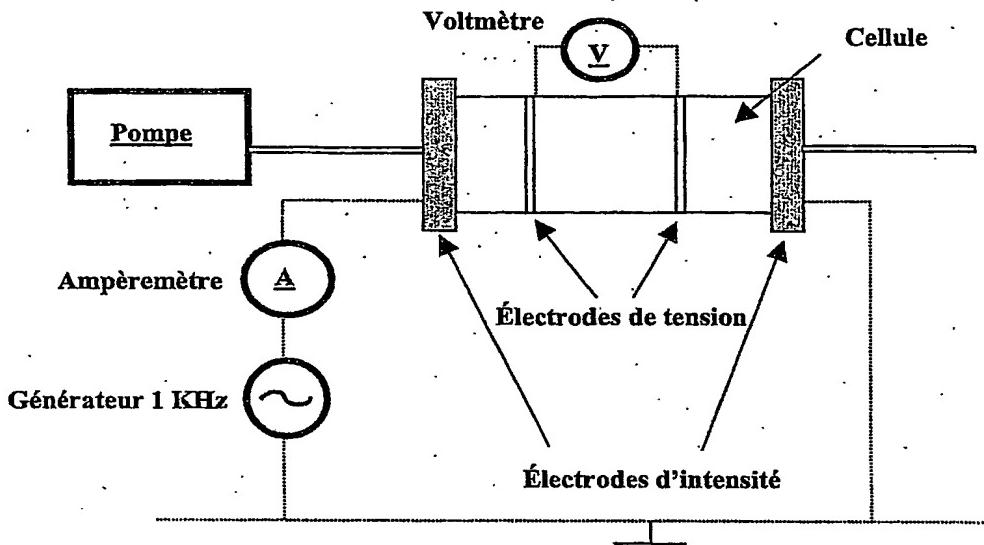
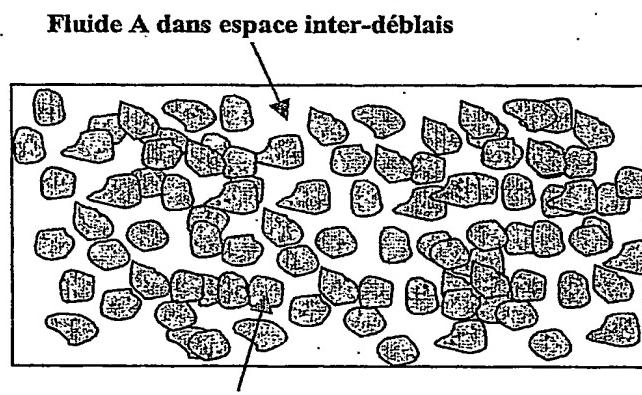
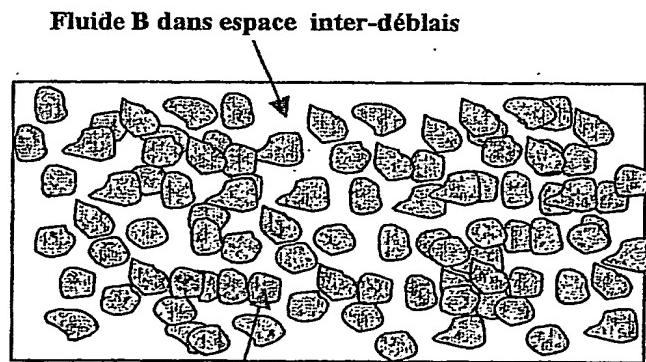


FIG.2



Fluide A dans les déblais

FIG.3



Fluide A dans les déblais

2/2

FIG.4A

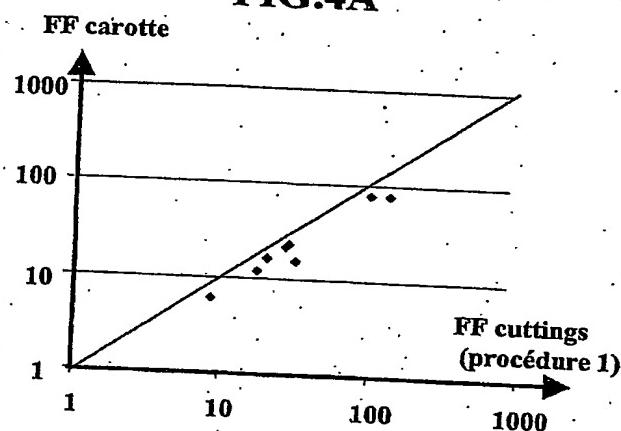


FIG.4B

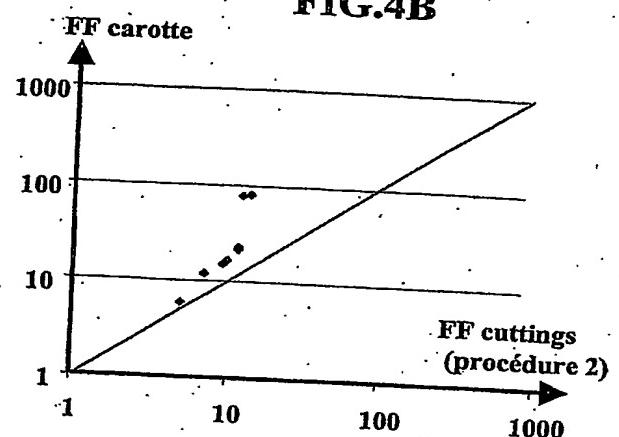


FIG.5A

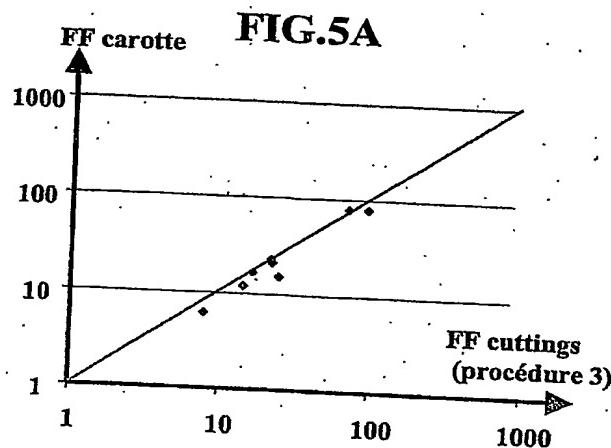


FIG.5B

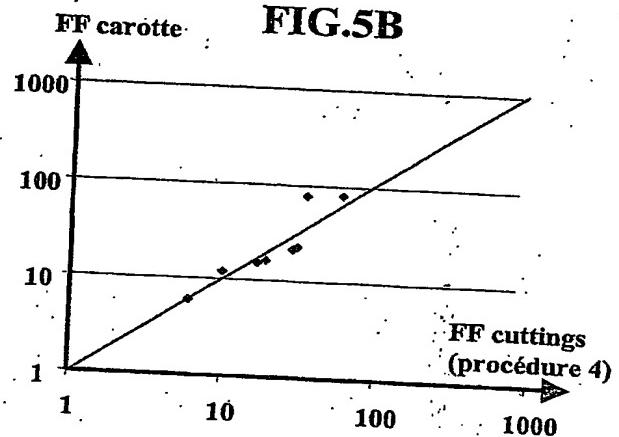


FIG.6

Nom	Kmd	f %	FF 1	FF 2	FF 3	FF 4	FF carotte
V8	491	18.4	27.37	22.08	11.5	28.1	21.33
Bri	19.9	20.6	28.73	21.73	11.54	29.67	22.83
Lav	0.05	13.3	132.4	92.4	12.1	34.13	78.22
GDV1	96.5	22.2	20.78	16.4	9.8	18.82	16.48
LavJ	515	27.9	17.71	14.43	7.09	9.89	11.92
St Max	1610	40.4	8.742	7.886	5.160	6.080	6.02
Tru	0.309	11.3	99.11	69.63	13.72	58.73	79.75
Berea	230	19.7	31.87	24.66	9.35	16.49	15.32

**BREVET D'INVENTION****CERTIFICAT D'UTILITÉ**

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI

N° 11235
DÉPARTEMENT DES BREVETS

26 bis, rue de Saint Pétersbourg
 75800 Paris Cedex 08
 Téléphone : 33 (1) 53 04 53 04 Télécopie : 33 (1) 42 94 86 54

DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° 1.../1...(À fournir dans le cas où les demandeurs et
 les inventeurs ne sont pas les mêmes personnes)

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 113 @ W / 27

Vos références pour ce dossier (facultatif)	JC/CLN
N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL	6305291
TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum) METHODE D'EVALUATION DE FACTEUR DE FORMATION D'UN GISEMENT SOUTERRAIN A PARTIR DE MESURES SUR DES DEBRIS DE FORAGE QUI Y SONT PRELEVES	

LE(S) DEMANDEUR(S) : INSTITUT FRANCAIS DU PETROLE	
--	--

DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) :

1	Nom	LENORMAND
	Prénoms	Roland
Adresse	Rue	31, avenue Gabriel Péri
	Code postal et ville	19 250 00 Rueil-Malmaison
Société d'appartenance (facultatif)		
2	Nom	EGERMANN
	Prénoms	Patrick
Adresse	Rue	6 avenue Alsace Lorraine Bâtiment K
	Code postal et ville	19 250 00 Rueil-Malmaison
Société d'appartenance (facultatif)		
3	Nom	BEHOT
	Prénoms	Joelle
Adresse	Rue	11bis, rue de la Libération
	Code postal et ville	19 545 00 Condecourt
Société d'appartenance (facultatif)		

S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez plusieurs formulaires. Indiquez en haut à droite le N° de la page suivi du nombre de pages.

DATE ET SIGNATURE(S)
DU (DES) DEMANDEUR(S)
OU DU MANDATAIRE
(Nom et qualité du signataire)

Alfred ELMALEH,
 Directeur - Propriété Industrielle

PCT/FR2004/050169

